

文章编号: 1002-0268 (2004) 06-0020-05

土工格栅工程特性的试验分析及其 在处理公路路基中的应用

岳红宇, 陈 功, 陈加付
(江苏省高速公路建设指挥部, 江苏 南京 210004)

摘要: 通过对大量试验数据的分析, 系统总结了土工格栅的工程特性, 同时对加筋土路基的工作机理进行深入分析, 给出了加筋土路基的稳定性判断准则。通过某高速公路路基裂缝加筋处理的工程实例, 探讨了应用土工格栅处理公路路基的工程可行性和施工技术要点。

关键词: 土工格栅; 加筋路堤; 裂缝处理

中图分类号: U416.12 **文献标识码:** A

Project Characteristics Analysis of Geogrid and Its Application in Highway Subgrade Treatment

YUE Hong-yu, CHEN Gong, CHEN Jia-fu
(Jiangsu Expressway Construction Headquarters, Jiangsu Nanjing 210004, China)

Abstract: Through the analysis of a large number of test data, the project characteristics of the geogrid are summarized systematically. At the same time, the paper discusses the working mechanism of the reinforced subgrade, and gives the judgement rule of stability of the reinforced subgrade. Through an example of expressway project the key technical points in the subgrade treatment are presented.

Key words: Geogrid; Reinforcement embankment; Crack treatment

由于土工合成材料具有良好的化学稳定性、生物稳定性、紫外线稳定性和环境应力稳定性, 同时具有较高的抗拉强度, 将其埋置在土体之中, 可以增强地基的承载力, 同时可改善土体的整体受力条件, 提高整体强度和路基的稳定性, 因此, 其在各项工程中得到广泛的应用。本文结合采用土工格栅处理某高速公路路基裂缝的工程实例, 系统总结了土工格栅的工程特性, 进一步探讨了加筋土的工作机理和加筋路堤的工程适用性。

1 土工格栅的工程特性

1.1 土工格栅的常规力学特性

土工格栅具有较为明显的粘弹性, 同时其力学特性受多方面因素的影响。因此, 在进行格栅的物理力学实验时, 规定试验条件十分重要。常规的力学试验

表明, 土工格栅的弹性模量和拉伸强度随着环境温度的变化而变化, 图 1 为单根格栅在不同环境温度下荷载与应变的关系图, 表 1 为不同温度下单根格栅的抗拉强度, 图 2 反映出单根格栅在不同应变速率下荷载与应变之间的关系。

表 1 不同温度下土工格栅的抗拉强度结果统计表

温度/℃	25	35	50	60	70	80	90	110	120
抗拉强度/N	265	215	180	155	142	127	116	75	36

从图 1 和表 1 我们可以看出, 随着温度的升高, 格栅的弹性模量和抗拉强度将明显降低, 同样, 在低温状态下格栅的弹性模量和抗拉强度将会明显提高。在同一外界温度下, 土工格栅的刚度和最大负荷会随着加荷速率的增大而增大。如果单独考虑温度效应, 土工格栅温度形变系数较高, 如发生整体形变则对加

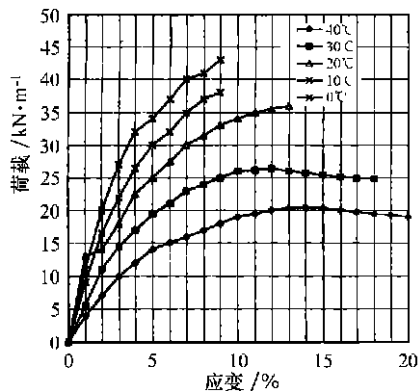


图1 不同温度下荷载与应变之间的关系

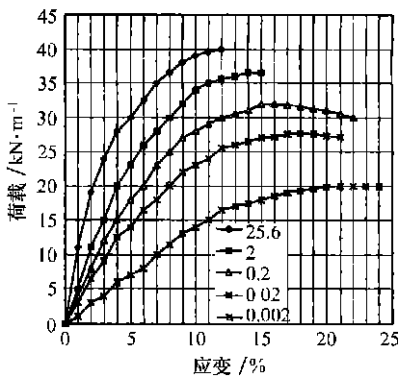


图2 不同应变速率下荷载与应变之间的关系

筋材料不会有很多影响,但是,在实际施工过程中,可能会发生局部不均匀形变,这将严重影响格栅的路用性能。同时,根据单根格栅的抗拉试验表明,格栅开始断裂时的应变约为15%,实际工程应用中考虑一定的安全系数,极限应变通常取10%。

1.2 土工格栅的徐变特性和疲劳韧性

作用在格栅加筋结构上的荷载可以持续许多年,格栅加筋材料将产生徐变,在设计过程中,一般将格栅加筋材料上作用的荷载限制在一定范围,即为设计荷载,并可以求出允许形变。在实际工程应用中,要保证格栅在设计荷载作用下的允许形变和实际总形变量保持一致。实际工程中我们一般采用蠕变系数法来估算材料的蠕变量,计算公式为

$$\epsilon_t = \epsilon_0 + b \lg t \tag{1}$$

式中, ϵ_t 为静荷载作用下 t 时间的总应变; ϵ_0 为受力开始时的初始应变; b 为蠕变系数; t 表示时间。

蠕变系数在不同的应力水平下是不同的,图3为不同荷载产生的应变-时间关系对比曲线(半对数),其斜率即为不同应力水平下的蠕变系数。同时在施工现场我们进行了交变荷载作用下的土工格栅模拟疲劳试验,具体做法为:将石灰土铺在土工格栅上,用平地机整平,采用12、16、20t振动压路机进行压实

(前振后静),碾压1h,间歇半小时为1个周期,共计进行4个周期,然后铲除灰土重做试验,与原试验数据对比,结果如图4所示。

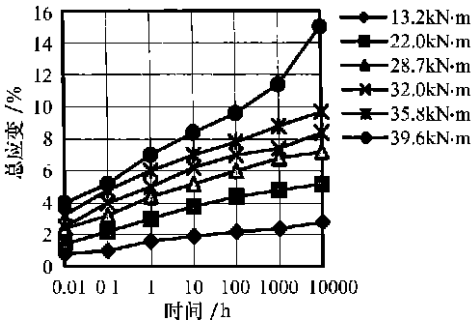


图3 不同荷载作用下的应变-时间关系

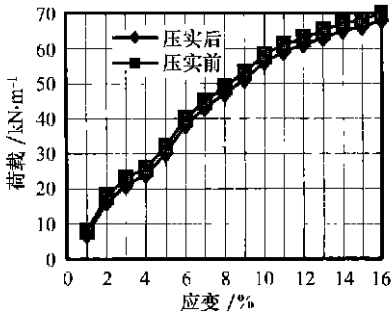


图4 压实前后格栅拉伸性能对比曲线

从图4可以看出,格栅承受交变荷载周期性作用后,处于工作应变状态下的材料刚度没有明显变化,但一般情况下,材料的极限抗拉强度有所降低,降低的幅度与土壤粒径有关,在实际应用中一般采用局部安全系数来考虑,一般对于常采用的SR80格栅,局部安全系数为1.1~1.3。土壤粒径越小,对材料极限抗拉强度影响越小,局部安全系数可适当取低值。

2 路基加筋原理

2.1 加筋土的工作机理

(1) 加筋土变形机理

加筋土是由多层水平加筋构件与填土交替铺设而成的一种复合体,其中的加筋构件如土工格栅主要承受土体产生的侧向压力,同时,填土材料则借助于加筋构件来保持稳定。加筋土的变形特征可以形象地由图5表示,用摩尔圆反映加筋土的受力状态如图6所示。未加筋的土单元体在竖向荷载作用下,土单元产生竖向变形和侧向膨胀,随荷载的增大,侧向膨胀也越来越大,直至破坏,其相应的摩尔应力圆为A;而加筋土在受到相同的竖向压力作用时,由于拉筋与土体的摩擦作用,使引起土体侧向膨胀的拉力传递给拉筋,土体侧向膨胀受到约束,相当于在侧向给土体施加一个静止土压力,从而使侧向变形 $\sigma_h \approx 0$, 对应于图6中的摩尔

圆 B 。摩尔圆 C 为加筋土体的极限破坏应力圆,从图中可以看出,如要使加筋土体在相同的竖向压力作用下达达到破坏,则需减小侧压力 σ_3 ,相反,如果需要在相同的侧向压力下达到破坏则需要加大竖向压力。

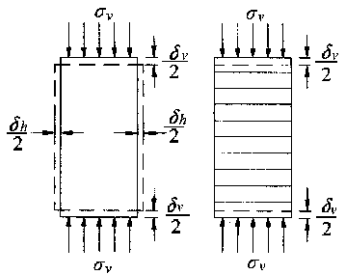


图 5 加筋土单元变形特征

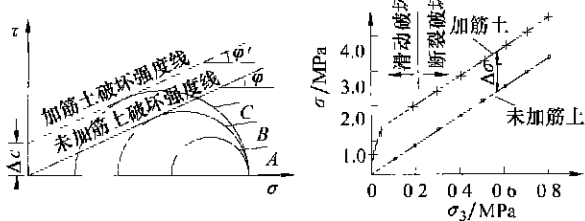


图 6 加筋土与未加筋土应力圆分析及强度曲线

(2) 格栅加筋的准粘聚力原理

通过加筋土和未加筋土的强度曲线对比可以看出,两者的内摩擦角相似,所不同的是增加了 Δc 值,说明加筋作用相当于土体强度增加了粘聚力 Δc ,亦即加筋土力学性能的改善是由于新的复合体具有某种粘聚力的缘故,称为准粘聚力,它反映了加筋复合体本身的材料特性。

假设加筋前后的土体摩擦角不变,根据图 6 中的几何关系可以推出准粘聚力的计算公式如下

$$\Delta c = \frac{\sigma_3 (\Delta \sigma_{1f} / \sigma_1) \sqrt{K_p}}{2} \quad (2)$$

式中, K_p 为与土体内摩擦角相关的系数, $K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$; σ_1 为无筋砂土试样破坏时的最大主应力; $\Delta \sigma_{1f}$ 表示加筋土试样破坏时的最大主应力增量, $\Delta \sigma_{1f} = \sigma_{1f} - \sigma_1$; σ_3 为无筋砂土试样破坏时的最小主应力。

式 (2) 是根据加筋土体在极限状态下求得,同时假设加筋前后的土体内摩擦角不变,实际上,大量试验证明,加筋土体的内摩擦角 φ' 与未加筋土体内摩擦角 φ 之间存在一定的关系,用土与格栅的相互作用系数来表示

$$\alpha_s = \tan \varphi' / \tan \varphi \quad (3)$$

一般情况下,该系数对砂土取 0.85~0.95,对粘土取 0.6~0.7,对碎石和砾石取 0.9~1。实际应用中通过试验确定。同时,式 (2) 的推求只强调强度

因素,因此,准粘聚力理论一般适用于如土工格栅等高模量加筋材料的强度计算。

2.2 加筋路堤的稳定性评价方法

(1) 加筋路堤滑动的一般形式

软土地段加筋路堤的稳定分析,主要有两种情况:一为路基填土的局部平衡状态破坏,外部表现为路基延加筋格栅表面横向直接平移开裂或者边坡的局部滑动;二为地基的整体失稳,外部表现为路堤同时有横向位移和竖向沉陷,路堤外侧地面隆起,即路基的深层滑动。前者主要和筋-土摩阻力不足和抗拉强度相关,较为简单。后者主要和软土地基的承载能力相关,是最危险的破坏形式,控制着路堤的稳定性。

路堤的垂直荷载增加了地基竖向应力,同时也增加了地基的水平应力,成为地基横向滑移的原动力。因此,软土上的未加筋路堤极有可能导致其下部软土的直接滑移,此时软土的抗剪强度在路堤坡脚和路肩之间的部位发生作用,如果加筋能够完全抵消填土中的侧向应力,它将完全消除这种滑动形式的驱动力。

(2) 稳定性计算公式

地基的稳定性分析,通常定义为圆弧滑动(上述后者),路堤加筋后,增加了一个稳定力矩。由于假定条件不同,采用荷兰法、瑞典条分法(见图 7)和毕肖普法计算路堤稳定性安全系数的方式有所不同,规范中采用简单条分法推求出计算加筋路堤的稳定系数公式

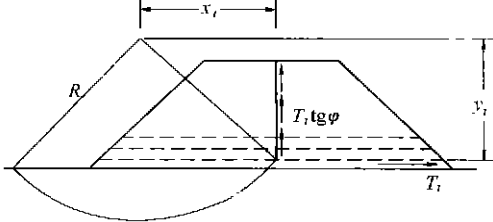


图 7 瑞典条分法计算路基整体稳定性示意图

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cos \theta_i \tan \varphi + c_{ui} \Delta l) R + \sum_{j=1}^m T_j y_j}{\sum_{i=1}^n (W_i \sin \theta_i) R_i + \sum Q_i y_{qi}} \quad (4)$$

式中, W_i 为第 i 条土重; c_{ui} 和 φ 代表土体不排水剪的凝聚力和内摩擦角; T_j 为第 j 层加筋材料的设计抗拉强度; Q_i 第 i 条土所受的地震水平力。

式(4)中,只考虑了路堤加筋后增加的延加筋面的稳定力矩,忽略了加筋对土体抗剪能力的提高。如图 8 所示,针对多层加筋处理路堤方式,式(4)可改进为

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cos \theta_i \tan \varphi + c_{ui} \Delta l) R + \sum_{j=1}^m (T_j y_j + T_i \tan \varphi x_i)}{\sum_{i=1}^n (W_i \sin \theta_i) R_i + \sum Q_i y_{qi}} \quad (5)$$

式中参数同式(4)。其中 $T_i \tan \varphi_{xi}$ 项代表加筋与土的相互作用,体现了加筋的整体结构效应,显然,加筋的材料抗拉强度越高,土体的内摩擦角越大,则抗滑力矩越大,路堤越稳定。

3 土工格栅处理路基灰土裂缝的应用实例

3.1 工程概况

某高速公路软基路段采用粉喷桩进行软基处理,桩长 11~12m,桩径 0.5m,桩间距 1.4~1.6m 不等,设计填高 4.5~5.3m 之间。在施工期间发生路基局部滑塌,并且在已经施工完成的石灰土表面存在大量纵横交叉裂纹,裂缝宽度 0.2~1cm,如图 8 所示。为防治路基继续开裂反射影响路面结构层和影响路基整体强度,经研究采用压密注浆和土工格栅加强综合处理表面龟裂裂纹。滑塌路段采取挖除原路堤填土,插打加密粉喷桩处理,并分层加铺土工格栅回填。为提高路基整体稳定性,在此路段填土路堤两侧设置反压护道,宽度 9m,填土高 2.0m。

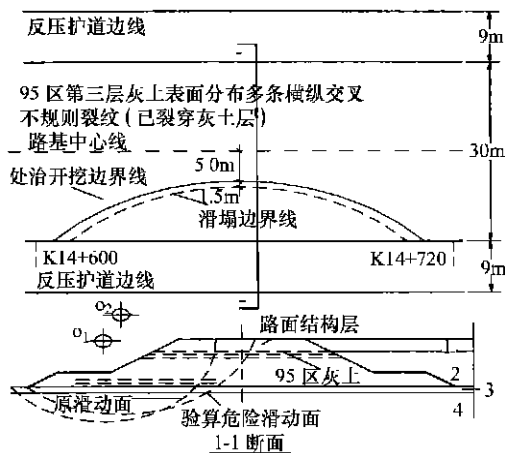


图 8 路基开裂、滑塌平面图

3.2 处治过程

(1) 对滑塌路段 以 50cm 一个台阶移去滑塌土方至原地地面,插打粉喷桩后整平场地,延开挖边线铺设一层土工格栅,回填 30cm 厚土,压实后再铺设一层土工格栅,回填 30cm 厚土,其上再铺设一层土工格栅,压实后回填土至 93 区顶,和已开裂的石灰土一并加铺土工格栅处理。

(2) 开裂的 95 区处理 对裂缝进行必要的标识之后,铲除已经开裂的石灰土层至山皮土顶面(平均厚约 60cm),然后对已经裂穿 93 区的裂缝进行压密注浆处理(在注浆之前要进行试注浆,合理的水灰比、注浆压力和注浆孔距)。整平底面,全幅满铺一层土工格栅(包括滑塌部位),然后回填路堤填料,

距路槽底面 30cm 时,再铺设一层土工格栅,回填 30cm 土,压实,再铺设一层土工格栅,上面加覆盖土并在铺筑路面结构层之前与周围路段一起进行掺灰处理,以求整体效果并防止不均匀沉降。

(3) 材料要求 土工格栅双向抗拉强度不小于 80kN/m,对应应变不小于 10%,搭接宽度 20cm,用细铁丝绑扎。

3.3 稳定性验算

考虑加、卸载对路基稳定性的影响,在加强监测的同时,按上述方法对该段路堤的稳定性进行验算,并与原设计相比较。很显然,经过上述处理,最不利的危险滑弧面必定避开已经用土工格栅处理的滑塌部位并于灰土层的三层土工格栅相交,如图 8。

(1) 计算参数选取

路堤部分填土容重取 19kN/m^3 ,粘聚力 c_1 取 10kPa,内摩擦角 φ_1 取 25° 。计算其下粉喷桩复合地基的抗剪强度时考虑桩体对土的置换率及桩土应力比,按下式计算

$$\tau_i = (1 - \eta)(c_{ui} + \mu_s U_i \gamma_{li} h_{li} m_i) + \eta \tau_c \quad (6)$$

式中, η 为桩对土的置换率,三角形分布取 $0.907(D/B)^2$, D 、 B 分别为桩直径和桩间距; μ_s 为桩土应力比折减系数, $\mu_s = 1/[1 + (n-1)\eta]$,其中 n 为桩土应力比,取 3.5; U_i 为土的固结度; γ_{li} , h_{li} 为反压护道填土容重及高度,计算中取 $\gamma_{li} = 19\text{kN/m}^3$, $h_{li} = 2\text{m}$; m_i 为第 i 条土滑裂面处土层强度增长系数,粘性土取 0.3; τ_c 为粉喷桩抗剪强度,取现场无侧限抗压强度的 50%。

施工期荷载只考虑路堤自重、路面增重和行车荷载,其中行车荷载按最不利荷载情况,由规范换算得到相当于填土标准高度 0.9m,横向分布 8.6m。同时,根据变更设计后粉喷桩复合地基现场承载力试验确定粉喷桩桩身无侧限抗压强度平均为 350kPa。

该滑塌路段的硬壳层厚度平均为 2.2m,起到一定的阻滑作用,但是由于路堤填土较高,荷载较大,硬壳层剪力不足以抵抗路堤的滑动力,从而发生失稳。计算中考虑硬壳层下滑动圆弧面穿过的两层软土,土体土工参数取自该路段详勘资料。

(2) 计算结果

表 2 为计算结果,其中, c_i , φ_i 为第 i 层土的内聚力及内摩擦角,稳定系数计算中综合考虑土工织物的处理效果。

从开裂、滑塌路段处理前后稳定性验算结果可以看出,当粉喷桩桩身无侧限抗压强度达到 0.35MPa

表 2 开裂、滑塌路段的稳定性验算结果

计算状态	土体基本强度指标参数								稳定性验算 (F_s)			
	c_1	φ_1	c_2	φ_2	c_3	φ_3	c_4	φ_4	未加筋	一层加筋	二层加筋	三层加筋
	/kPa	/ (°)	/kPa	/ (°)	/kPa	/ (°)	/kPa	/ (°)				
未滑塌前 (滑塌前填土标高)			10	25	20	5	10	5	0.96	—	—	—
补打粉喷桩后填土至95区顶			10	25	10	5	15	10	1.58	1.69	1.83	1.95
结构层施工完成,并考虑车行荷载	25	20	10	25	15	10	20	15	1.49	1.61	1.70	1.78

时, 经过修改设计, 路基稳定性基本得到了保证, 安全系数都有了一定的富余。但是从加筋与否的路堤稳定性验算结果对比也可以看出, 在路堤上部铺设土工格栅后, 路堤稳定性安全系数一般能提高 5%~9%, 还看不出铺设土工格栅对路堤稳定性有明显效果。如果把土工格栅满幅铺设在路堤下部 (如砂垫层部位), 土工格栅产生的稳定力矩将大大加强。

4 对加筋土路堤施工的几点建议

(1) 加筋路堤的质量取决于土工织物的铺设质量。土工材料温度敏感性高, 因此, 无论是在运输还是施工过程中, 都应避免阳光长时间曝晒。同时, 格栅搭接质量至关重要, 要保证织物在弯曲、折皱、重叠以及拉伸至显著程度时, 仍不丧失抗拉强度。

(2) 一般情况下, 土工织物加筋对解决路堤稳定性问题有较好的效果。如果在铺设过程中对土工织物进行必要的预张拉, 则加筋效果更为显著。尤其在处理路基表面开裂过程中, 为保证加筋效果, 必须进行预张拉处理, 使土体内部产生一定的预应力, 避免温缩与干缩裂缝的出现。土工格栅的铺设大大减少了该

段路基的不均匀沉降,

(3) 岩土工程项目不确定因素较多, 我国公路有关规范中对路基抗滑移稳定安全系数均取 1.3, 这明显低于国际 1.8~2.0 的平均水平。在现有公路工程设计模式下, 适当提高我国岩土工程的安全水准是必要的。同时, 针对如何选择不同结构性质和荷载模式下的结构安全性准则并对其进行综合评价进行研究, 使安全系数的取值更加合理将是岩土界需要解决的问题之一。

参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部. 公路软土地基路堤设计和施工规范 (JTJ017-96) [S]. 北京: 人民交通出版社, 1996.

[2] 中华人民共和国交通部. 公路土工合成材料应用技术规范 (JTJ/T019-98) [S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.

[3] 岳红宇, 王良国. 关于软粘土不排水强度试验的几点注解 [J]. 江苏交通科技, 2000 (5).

[4] 岳红宇, 等. 广珠段高速公路软基稳定性分析与处理 [J]. 江苏交通科技, 2001 (6).

[5] 谢开富, 等. 软弱地基上加筋土堤的稳定性分析 [J]. 重庆交通学院学报, 1997, 6 (2).